

High-strength, high-toughness and corrosion resistant mooring chain steel and its production process

Patent number: CN1281906
Publication date: 2001-01-31
Inventor: ZHANG WEIJI (CN); ZHU YIMING (CN); LI GUOZHONG (CN)
Applicant: JIANGYIN XINGCHENG IRON & STEE (CN)
Classification:
- international: C22C38/48
- european:
Application number: CN20000109053 20000602
Priority number(s): CN20000109053 20000602

[View INPADOC patent family](#)

[Report a data error here](#)

Abstract of CN1281906

The present invention relates to a high-strength, high-toughness and corrosion-resisting steel for mooring chain and its production process. Said steel contains (wt%) C 0.25%-0.33%, Si 0.15%-0.30%, Mn 1.45%-1.75%, Cr 0.90%-1.40%, Ni 1.00%-1.20%, Mo 0.45%-0.65%, Nb 0.02%-0.06%, Al 0.020%-0.05%, residual and harmful elements: P is less than or equal to 0.020%, S is less than or equal to 0.015%, Cu is less than or equal to 0.20%, Sn is less than or equal to 0.03%, Sb is less than or equal to 0.01%, As is less than or equal to 0.04%, B is less than or equal to 0.005%, [N] is less than or equal to 0.009%, [O] is less than or equal to 0.0020%, [H] is less than or equal to 0.0002% and the rest is Fe. At the same time the carbon equivalent must be greeter than 1.40. Said steel produced by adopting EAF+LF+VD+CCM process can be used as R4-level morring chain for semi-submerged well drilling platform, single-point mooring structure, floating tanker and other marine installation.

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int. Cl⁷

C22C 38/48

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 00109053.4

[43]公开日 2001 年 1 月 31 日

[11]公开号 CN 1281906A

[22]申请日 2000.6.2 [21]申请号 00109053.4

[71]申请人 江阴兴澄钢铁有限公司

地址 214429 江苏省江阴市滨江东路 297 号

[72]发明人 张文基 祝宜明 李国忠 郭 艳
张玉峰 李 峰 巨清高 马恒毅
杨瑞珍 朱林放

[74]专利代理机构 北京万科园专利事务所

代理人 张亚军 李昆岐

权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图页数 0 页

[54]发明名称 高强度、高韧性、耐腐蚀系泊链用钢及其
生产工艺

[57]摘要

本发明涉及一种高强度、高韧性、耐腐蚀的系泊链用钢及其生产工艺，该钢含有（重量%）C：0.25% - 0.33%、Si：0.15% - 0.30%、Mn：1.45% - 1.75%、Cr：0.90% - 1.40%、Ni：1.00% - 1.20%、Mo：0.45% - 0.65%、Nb：0.02% - 0.06%、Al：0.020% - 0.05%、残余及有害元素 P：≤0.020%、S：≤0.015%、Cu：≤0.20%、Sn：≤0.03%、Sb：≤0.01%、As：≤0.04%、B：≤0.005%、[N]：≤0.009%、[O]：≤0.0020%、[H]：≤0.0002%，其余为 Fe。同时其碳当量必须大于 1.40。

该钢采用 EAF + LF + VD + CCM 工艺生产，本发明的系泊链用钢，可用于半潜式钻井平台、单点系泊结构和浮式生产储油轮以及其它海洋开发设施的 R4 级系泊链，亦可用于一些要求较高的船舶锚链。

ISSN 1008-4274

知识产权出版社出版

权 利 要 求 书

1. 一种高强度、高韧性、耐腐蚀的系泊链用钢，其特征在于：含有(重量%) C: 0.25%-0.33%、Si: 0.15%-0.30%、Mn: 1.45%-1.75%、Cr: 0.90%-1.40%、Ni: 1.00%-1.20%、Mo: 0.45%-0.65%、Nb: 0.02%-0.08%、Al: 0.020%-0.050%、残余及有害元素P: < 0.020%、S: < 0.015%、Cu: < 0.20%、Sn < 0.03%、Sb: < 0.01%、As: < 0.04%、B: < 0.005%、[N]: < 0.009%、[O]: < 0.0020%，其余为Fe。

2. 权利要求1所述的高强度、高韧性、耐腐蚀的系泊链用钢，其特征在于，碳当量必须大于1.40，即碳当量 $CE=C(\%) + 1/3Cr(\%) + 1/3Mn(\%) + 2/3Mo(\%)$ 。

3. 权利要求1或2所述的一种高强度、高韧性、耐腐蚀的系泊链用钢的生产工艺，其特征在于，该工艺包括：

(1) 电炉冶炼，在100t超高功率直流电弧炉中冶炼，加入废钢及生铁，实现预脱氧及成分初调；

(2) LF精炼，在100tLF精炼炉中进行成分微调；

(3) VD精炼，采用100tVD炉实现真空脱气，保证[H] < 0.0002%；

(4) 连铸，采用半径12米的6流连铸机，连续浇铸成300mm方坯；

(5) 连轧，通过16机架连轧机组，轧制成系泊链棒材；

(6) 无损检测，采用超声波及涡流探伤机组进行轧件的表面及内部质量的检验。

说明书

高强度、高韧性、耐腐蚀系泊链用钢及其生产工艺

本发明属于铁基合金钢，涉及到R4级海洋系泊链（OFFSHORE MOORING CHAIN）用合金钢钢种设计及生产工艺。

近年来，随着海洋资源开发的深入发展，尤其是深海采油、海洋勘探、国防建设等海洋设施需要使用大量的系泊链，由于海洋尤其是深海恶劣的作业环境和海洋设施的大型化，对系泊链用钢的综合性能提出了更为苛刻的要求，不仅要求强度高，韧性好，重量轻，还要求耐海水腐蚀、抗疲劳、耐磨损以及优良的焊接性能和较好的焊口低温冲击韧性。制造系泊链棒材直径一般为 $\Phi 70\text{mm}-\Phi 160\text{mm}$ ，整条链的长度 $100\text{m}-2000\text{m}$ 。四级系泊链的抗拉强度要求大于 860MPa ，屈服强度要求大于 580MPa ，目前国内所生产的船用三级锚链钢已远远不能满足以上海洋系泊链性能要求。因此，海洋系泊链尤其R4级海洋系泊链用钢的研究和生产显得尤为重要和迫切。国内对R4级海洋系泊链用钢曾做过一些研究，如《金属热处理》1990年第9期“四级锚链钢的断裂韧性”、《金属热处理学报》1991年第12卷第4期“四级锚链钢的延性断裂韧性与断裂表面的分型”、《热加工工艺》1991年第5期“新型四级锚链钢的力学性能”、《特殊钢》1992年第2期“海洋平台锚链钢30MnCrV的研制和应用”。这些文献均报道了一些用于R4级系泊链的钢种，由于这些钢种的热处理敏感性强、焊接性能差、焊缝处的力学性能偏低，难于满足制链工艺的要求，因此仅限于实验室的小批量的试制，而未转入工业大生产，至今此产品在国内尚属空白。

国内所报道的几个四级系泊链钢种与本发明的钢种之对比情况如下。

本发明钢种与对比钢号的成分（%）对比

元素	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	P	S	Al	Nb	Sn	Sb	As	B
本发明	0.28	0.27	1.58	1.00	1.12	0.58	0.014	0.008	0.029	0.04	0.02	0.008	0.03	0.003
对比钢1	0.26	0.31	1.64	1.04	—	0.47	0.009	0.008	0.025	—	—	—	—	—
对比钢2	0.205	0.695	1.50	0.78	0.78	0.44	0.020	0.005	0.070	—	—	—	—	—
对比钢3	0.22	0.67	1.48	0.84	0.80	0.50	0.022	0.005	0.075	0.028	—	—	—	—

系泊链的制链工艺过程中，棒材经闪光焊接后，制成上千米长的链条，整

条链条再经淬火+回火的调质热处理工艺。对于大型链条在其表面和焊缝处极易产生淬火和回火裂纹缺陷,一旦产生这样的缺陷,其中有裂纹的链环必须从整个链条中取掉而重新制作,这将大幅度地增加能耗,降低生产效率。同时由于在焊接过程中,焊缝处主要元素(如C、Si、Mn等)的烧损和堆积,将降低焊缝处的力学性能。通过成分的优化设计,降低钢种的热处理敏感性,提高焊口部分的力学性能,是本钢种设计的关键。

因此,本发明的目的在于,解决现有技术中存在的上述问题,提供高强度、高韧性、耐腐蚀的系泊链用钢及其生产工艺。

具体地说,本发明是关于:

一种高强度、高韧性、耐腐蚀的系泊链用钢,其特征在于:含有(重量%)C:0.25%-0.33%、Si:0.15%-0.30%、Mn:1.45%-1.75%、Cr:0.90%-1.40%、Ni:1.00%-1.20%、Mo:0.45%-0.65%、Nb:0.02%-0.06%、Al:0.020%-0.050%、残余及有害元素P:<0.020%、S:<0.015%、Cu:<0.20%、Sn<0.03%、Sb:<0.01%、As:<0.04%、B:<0.005%、[N]:<0.009%、[O]:<0.0020%,其余为Fe。

上述的高强度、高韧性、耐腐蚀的系泊链用钢,其特征在于,碳当量必须大于1.40,即碳当量 $Ce=C(\%) + 1/3Cr(\%) + 1/3Mn(\%) + 2/3Mo(\%)$ 。

下面,详细说明本发明高强度、高韧性、耐腐蚀的系泊链用钢化学成分的限定理由。

C:碳可提高钢的强度,同时又可提高钢的淬透性。低于0.25%,焊缝处的力学性能达不到四级系泊链的强度要求,高于0.33%,在淬火工艺中,母材易产生淬火裂纹,且闪光对焊部分残留的碳增多,将降低焊缝处的冲击韧性。因此碳含量确定为:0.25-0.33%。

Si:硅可提高钢的强度及淬透性,其最低含量为0.15%,才能达到其效果,但硅含量过高特别是当其与锰、铬元素共存时,硅固溶于奥氏体中,使奥氏体晶粒粗化,增加钢的过热敏感性—钢的回火脆性。同时由于硅易被氧化,钢中硅酸盐夹杂的存在,将降低钢的冲击韧性。对比钢2、对比钢3的硅含量较高,这是链条焊缝处的冲击韧性低,在调质处理过程中产生淬火或回火裂纹的主要原因。本发明钢种的Si含量上限为0.30%。

Mn:作为提高强度和韧性,提高钢的淬透性而加入,但锰含量过高易产生钢晶粒粗化的倾向,且增加了钢的回火脆性的敏感性,当锰含量超过1.75%时,易产生淬火裂纹,因此锰含量范围确定为1.45-1.75%。

Cr:铬是提高系泊链钢抗海水腐蚀能力的主要元素,同时铬可以抑制和降低碳的扩散速度,减少钢在焊接时碳的烧损,提高焊缝处的力学性能。铬还有提高钢的淬透性及回火稳定性的作用。因此铬应不低于0.90%,而较高的铬含量所形成的氧化物夹杂滞留于焊缝处,将降低钢的冲击韧性,铬上限确定为1.40%。对比钢2、对比钢3铬含量偏低,相对于本发明钢种,其回火稳定性、淬透性较低,其焊缝处的综合力学性能不及本钢种。

Mo: 钼可以提高钢的淬透性,防止回火脆性,可明显改善钢材焊缝处的淬火特性,减少淬火裂纹,提高焊缝处的冲击韧性。当钼含量超过0.65%时,对性能改善的效果将不再增加。同时钼元素也是作为提高钢的耐腐蚀性能的元素之一。

Ni: 镍可提高钢的强度,降低钢的低温脆性转变温度,亦可提高钢的抗疲劳性能和减少对缺口的敏感性,可明显提高链条的母材及焊缝处的低温冲击韧性,同时镍元素也是作为提高钢的耐腐蚀性能的元素之一。但含量过高,不仅增加成本,而且由于氧化皮下的金属基体成为富镍而不易氧化,从而导致氧化皮粘附,形成不易脱落的氧化皮,在焊接去毛刺的工艺制作中出现“缺肉”现象。本钢种含量范围确定为1.00-1.20%。对比钢1,将镍作为残余元素,而不是作为合金元素加入,相对于本发明钢种,其链环的母材和焊缝处的综合力学性能及耐腐蚀性能不及本发明钢种。

Nb: 铌作为细化晶粒元素和沉淀强化元素而加入,对降低钢中气体含量及改善钢的低温冲击韧性作用明显。当其含量超过0.06%时,其改善效果不再增加。同时铌以固定钢中碳的作用,从而提高钢抗晶间腐蚀的性能。对比钢1、对比钢2中未加入该元素,相对于本发明钢种,其链环的母材和焊缝处的综合力学性能及耐腐蚀性能不及本发明钢种。

Al: 铝与铌的作用相类似,主要是细化晶粒及降低钢中气体氧、氮含量,以改善链条母材及焊缝处的综合力学性能。铝超过0.050%时,铝的氧化物夹杂增加,将恶化钢材的冲击韧性。对比钢2、对比钢3的铝含量高于0.050%,焊接工艺中易导致铝氧化物夹杂的增加。相对于本发明钢种,其链环的母材和焊缝处的综合力学性能及耐腐蚀性能不及本发明钢种。

残余元素Sn、Sb、As、Cu、B、P、S: 人们通过大量的试验研究已证实,P、As、Sn、Sb,在晶间偏聚造成晶界脆化,是产生回火脆,特别是高温回火脆的首要因素。当残余元素含量加As、Sn、P超过一定含量时,还将降低钢的低温冲击韧性,提高钢的脆性转变温度,恶化钢的综合力学性能。本发明钢种将残余元素控制在: $Sn < 0.03\%$ 、 $Sb < 0.01\%$ 、 $As < 0.04\%$ 、 $Cu < 0.20\%$ 、 $P < 0.02\%$ 、 $S < 0.015\%$ 。B有增加钢的回火脆性并使奥氏体晶粒长大倾向,因此将B控制在 $< 0.005\%$ 以内,其对热处理敏感性的影响即可忽略。对比钢1、对比钢2、对比钢3未有叙述。本发明钢种更具优势。

O: 在较低温度之下,强度和塑性随氧含量的增加而急剧地降低。氧含量对冲击韧性也有影响,随着氧含量的增加,冲击值的最大值逐渐降低,脆性转变温度也很快地升高,脆性转变温度的范围也随着变宽。本发明及生产工艺可将氧含量控制在0.0020% (20ppm) 以内。对比钢1、对比钢2、对比钢3未有叙述。本发明钢种更具优势。

N: 钢中残余氮含量虽少,但对钢的力学性能却能产生显著的影响。氮能使钢产生应变时效现象,即强度和硬度提高,韧性降低,缺口敏感性增加,

氮含量越高,由氮含量导致的脆性倾向就更为明显。本发明及生产工艺可将氮含量控制在0.0090%(90ppm)以内。对比钢1、对比钢2、对比钢3未有叙述。本发明钢种更具优势。

按照本发明生产的系泊链用钢,可获得较高的强度、较低的屈强比,因而具有优异的低温冲击韧性。试料经整体调质处理后取样,测得屈服强度 $\sigma_s=830-860\text{MPa}$ 、抗拉强度 $\sigma_b=900-1070\text{MPa}$ 、延伸率 $\delta_s=16-21\%$ 、断面收缩率 $\Psi=65-70\%$;-20℃下的冲击功(V型缺口)为110-150J。

以下说明本发明钢的生产工艺:

(1)电炉冶炼,在100t超高功率直流电弧炉中冶炼,加入废钢及生铁,实现预脱氧及成分初调;

(2)LF精炼,在100tLF精炼炉中进行成分微调;

(3)VD精炼,采用100tVD炉实现真空脱气,保证 $[H]<0.0002\%$;

(4)连铸,采用半径12米的5流连铸机,连续浇铸成300mm方坯;

(5)连轧,通过16机架连轧机组,轧制成系泊链棒材;

无损检测,采用超声波及涡流探伤机组进行轧件的表面及内部质量的检验。

实施例1

C:0.28%、Si:0.27%、Mn:1.58%、Cr:1.00%、Ni:1.12%、Mo:0.58%、Al:0.029%、Nb:0.04%、P:0.014%、S:0.006%、Cu:0.12%、Sn:0.02%、Sb:0.008%、As:0.02%、B:0.003%、[N]:0.0056%、[O]:0.0015%、[H]0.00015%。

棒材经整体热处理(890℃淬火600℃回火),后取样,所获得的力学性能如下:

$\sigma_s=850\text{MPa}$ 、抗拉强度 $\sigma_b=980\text{MPa}$ 、延伸率 $\delta_s=18\%$ 、断面收缩率 $\Psi=67\%$;-20℃下的冲击功(V型缺口)为145J。

实施例2

C:0.30%、Si:0.28%、Mn:1.52%、Cr:1.20%、Ni:1.15%、Mo:0.58%、Al:0.032%、Nb:0.035%、P:0.015%、S:0.008%、Cu:0.12%、Sn:0.02%、Sb:0.008%、As:0.02%、B:0.003%、[N]:0.0062%、[O]:0.0016%、[H]0.00014%。

棒材经整体热处理(890℃淬火600℃回火),后取样,所获得的力学性能如下:

$\sigma_s=830\text{MPa}$ 、抗拉强度 $\sigma_b=960\text{MPa}$ 、延伸率 $\delta_s=19\%$ 、断面收缩率 $\Psi=66\%$;-20℃下的冲击功(V型缺口)为142J。

实施例3

C:0.26%、Si:0.25%、Mn:1.52%、Cr:0.95%、Ni:1.15%、Mo:0.58%、Al:0.026%、Nb:0.045%、P:0.015%、S:0.008%、Cu:0.12%、Sn:0.02%、Sb:0.008%、As:0.02%、B:0.003%、[N]:0.0060%、[O]:0.0015%、[H]0.00012%。

棒材经整体热处理(890℃淬火600℃回火),后取样,所获得的力学性能如下:

$\sigma_s = 840\text{MPa}$ 、抗拉强度 $\sigma_b = 995\text{MPa}$ 、延伸率 $\sigma_s = 17\%$ 、断面收缩率 $\Psi = 62\%$ ； -20°C 下的冲击功 (V型缺口) 为 135J 。

为了进一步说明本发明系泊链用钢的实际应用效果, 以下举例说明用本钢种制成的系泊锚链成品的力学性能。

锚链产品的制链工艺为: 采用闪光预热对焊专用机组将棒材进行编环对焊, 链条制成后, 需在立式连续式调质热处理炉中进行淬火加回火处理: 淬火温度 $870-920^\circ\text{C}$, 水冷至室温, $580-630^\circ\text{C}$ 回火, 水冷至室温。在链环的环背及焊缝处取拉伸及冲击试样, 其检验结果如下。

环背: $\sigma_s = 830\text{MPa}$ 、抗拉强度 $\sigma_b = 917\text{MPa}$ 、延伸率 $\sigma_s = 22\%$ 、断面收缩率 $\Psi = 67\%$ ； -20°C 下的冲击功 (V型缺口) 为 141J 。

焊缝: $\sigma_s = 825\text{MPa}$ 、抗拉强度 $\sigma_b = 913\text{MPa}$ 、延伸率 $\sigma_s = 17\%$ 、断面收缩率 $\Psi = 58\%$ ； -20°C 下的冲击功 (V型缺口) 为 105J 。

以上系泊链棒材生产厂 (兴澄钢铁公司) 以及系泊链产品生产厂 (镇江锚链厂) 均通过 ABS (美国船级社)、DNV (挪威船级社)、LR (英国劳氏船级社) 三个船级社的工厂认可, 并获得工厂认可和产品认可证书, 其力学性能数据为上述三家船级社产品认可的实测数据。